



**Dottorato in Information Technology and Electrical Engineering**

**Università degli Studi di Napoli Federico II**

**Dottoranda: Diana Serra**

---

**XXIX Ciclo**

**Relazione sulle attività di formazione e di ricerca - Primo anno**

**Tutor: Prof. Vincenzo Lippiello**



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI  
**FEDERICO II**

### 1. Informazioni

La dottoranda Diana Serra ha conseguito la laurea magistrale con lode il 18/12/2013 in Ingegneria dell'Automazione, Università di Napoli Federico II. La tesi magistrale è intitolata "Modellazione, analisi e controllo di veicoli aerei per un atterraggio di emergenza in caso di perdita di un motore". Dal 01/03/2014, Diana Serra è iscritta al XXIX ciclo di dottorato in *Information Technology and Electrical Engineering*, sotto la supervisione del Prof. Vincenzo Lippiello. L'attività di dottorato è supportata da una borsa di studio intitolata "Controllo di Robot per la Manipolazione Dinamica", nell'ambito del progetto RODYMAN (RObotic DYnamic MANipulation, [www.rodyman.eu](http://www.rodyman.eu)).

### 2. Attività di studio e di formazione

#### Corsi seguiti:

- "Sistemi ad eventi discreti", tipologia: corso di laurea magistrale in ingegneria dell'automazione, periodo: 03.2014 - 06.2014, ore: circa 50, professore: G. De Tommasi, crediti: 6.
- "Meccanica Quantistica", tipologia: corso ad hoc per dottorandi, periodo: 05.2014 - 07.2014, ore: 14, professore: G. Miano, crediti: 3.
- "Theory and Applications of Piecewise Smooth Dynamical Systems", tipologia: corso ad hoc per dottorandi, periodo: 06.2014, ore: 15, professore: J. Hogan, crediti: 5.
- "Introduction to the Analysis and Control of Nonlinear Systems", "Unmanned Aerial Vehicles", tipologia: scuola di dottorato SIDRA, periodo: 07.2014, ore: 36, organizzatori: L. Marconi, C. Melchiorri ed E. Valcher, crediti: 4.
- "Europrogettazione", tipologia: corso ad hoc per dottorandi, periodo: 10.2014, ore: 15, professore: G. Varchetta, crediti: 3.

#### Seminari seguiti:

- "Circuiti Quantistici", data: 04.04.2014, orario: 15:00 - 16:00, autore: Prof. G. Miano, luogo: sala riunioni, DIETI, via Claudio, 21, Napoli, crediti: 0.2.
- "Insisting on an Anonymous (leaderless) Approach to Collective Robotics", data: 05.05.2014, orario: 11:00 - 13:00, autore: Prof. F.M.G. França, luogo: edificio B8, Complesso Universitario di Monte Sant'Angelo, via Cintia 26, Napoli, crediti: 0.4.
- "Plasmon Resonances and Riemann Hypothesis", data: 23.05.2014, orario: 15:00 - 17:00, autore: Prof. I. Mayergoyz, luogo: Sala riunioni, DIETI, via Claudio, 21, Napoli, crediti: 0.4.
- "High-Dimensional Pattern Recognition via Sparse Representation", data: 04.06.2014, orario: 16:30 - 18:30, autore: Prof. A. Yang, luogo: aula C2-A, DIETI, via Claudio, 21, Napoli, crediti: 0.4.
- "Utilizzo di Reti di Petri per la diagnosi dei guasti e per la modellistica ed il controllo dei sistemi logistici", data: 06.06.2014, orario: 8:30 - 11:30, autore: Prof. F. Basile, luogo: aula I7, DIETI, via Claudio, 21, Napoli, crediti: 0.6.
- "Towards agile flight of vision-controlled micro flying robots: from frame-based to event-based vision", data: 16.09.2014, orario: 14:30 - 15:30, autore: Prof. D. Scaramuzza, luogo: sala riunioni, DIETI, via Claudio, 21, Napoli, crediti: 0.2.
- "Fractional Programming for Energy Efficiency in Wireless Networks", data: 15.09.2014 e 22.09.2014, orario: 14:30 - 16:00 entrambi i giorni, autore: Ing. A. Zappone, luogo: aula ovale ex DIBET, via Claudio, 21, Napoli, crediti: 0.6.
- "Ciclo di Seminari su Nano-carbon based components and materials for high frequency electronics", data: 06.10.2014, orario: 10:00 - 14:00, autori: Prof. S. Maksimenko, Prof. G. Slepyan, Prof. A. Lobko, luogo: aula Softel, DIETI, via Claudio, 21, Napoli, crediti: 0.8.
- "Developmental Robotics: From Babies to Robots", data: 10.10.2014, orario: 14:30 - 16:30, autore: prof. A. Cangelosi, luogo: sala riunioni, DIETI, via Claudio, 21, Napoli, crediti: 0.4.
- "Quantum Teleportation", data: 23.10.2014, orario: 17:00 - 18:00, autore: Prof. G. Miano, luogo: aula Softel, DIETI, via Claudio, 21, Napoli, crediti: 0.2.

## Relazione sulle attività di formazione e di ricerca – Primo anno

Dottorato in Information Technology and Electrical Engineering – XXIX Ciclo

Diana Serra

- “Heterogeneities in temporal networks emerging from adaptive social interactions”, data: 14.11.2014, orario: 12:00 - 13:00, autore: Prof. T. Aoki, luogo: aula Softel, DIETI, via Claudio, Napoli, crediti: 0.2.
- “Methods and tools for smart device integration and simulation”, data: 14.11.2014, orario: 11:30 - 13:30, autore: Prof. F. Fummi, luogo: aula C2A, DIETI, via Claudio, 21, Napoli, crediti: 0.4.
- “Smoothed particle machine perception: a proposed method for sensor fusion and physical-spacial perception”, data: 14.01.2015, orario: 15:00 - 16:00, autore: Ing. N. Hockings, luogo: sala riunioni, DIETI, via Claudio, 21, Napoli, crediti: 0.2.
- “Mechanics of solids: from beam theory to rapid prototyping for surgery planning”, data: 15.01.2015, orario: 10:00 - 11:00, autore: Prof. F. Auricchio, luogo: aula Softel, DIETI, via Claudio, 21, Napoli, crediti: 0.2.

	Credits year 1							Credits year 2							Credits year 3							Total	Check			
	Estimated	1	2	3	4	5	6	Summary	Estimated	1	2	3	4	5	6	Summary	Estimated	1	2	3	4			5	6	Summary
<b>Modules</b>	18	0	11	7	3	0	0	21	9							0								0	21	30-70
<b>Seminars</b>	13	0,2	1,8	0	2,2	0,6	0,4	5,2	6	3	3		3		6	15								0	20	10-30
<b>Research</b>	34	9	1	4	3	9	7,8	34	42	7	7	7	7	7	7	42								0	76	80-140
	65	9,2	14	11	8,2	9,6	8,2	60	57	10	10	7	10	7	13	57	0	0	0	0	0	0	0	0	117	180

Year	Lecture/Activity	Type	Credits	Certification
1	Sistemi ad Eventi Discreti	MS module	6	x
1	Meccanica quantistica	Ad Hoc Module	3	x
1	Theory and Applications of Piecewise Smooth Dynamical Systems	Ad Hoc Module	5	x
1	Introduction to the Analysis and Control of Nonlinear Systems, Unmanned Aerial Vehicles	Doctoral School	4	x
1	Europrogettazione	Ad Hoc Module	3	x
1	Circuiti Quantistici	Seminar	0,2	x
1	Insisting on an Anonymous (leaderless) Approach to Collective Robotics	Seminar	0,4	x
1	Plasmon Resonances and Riemann Hypothesis	Seminar	0,4	x
1	High-Dimensional Pattern Recognition via Sparse Representation	Seminar	0,4	x
1	Utilizzo di Reti di Petri per la diagnosi dei guasti e per la modellistica ed il controllo dei sistemi logistici	Seminar	0,6	x
1	Towards agile flight of vision-controlled micro flying robots: from frame-based to event-based vision	Seminar	0,2	x
1	Fractional Programming for Energy Efficiency in Wireless Networks	Seminar	0,6	x
1	Ciclo di seminari su Nano-carbon based components and materials for high frequency electronics	Seminar	0,8	x
1	Developmental Robotics: From Babies to Robots	Seminar	0,4	x
1	Quantum Teleportation	Seminar	0,2	x
1	Heterogeneities in temporal networks emerging from adaptive social interactions	Seminar	0,2	x
1	Methods and tools for smart device integration and simulation	Seminar	0,4	x
1	Smoothed particle machine perception: a proposed method for sensor fusion and physical-spacial perception	Seminar	0,2	x
1	Mechanics of solids: from beam theory to rapid prototyping for surgery planning	Seminar	0,2	x

### 3. Attività di ricerca

#### Problemi sottoattuati relativi a veicoli aerei senza pilota e manipolazione non prensile

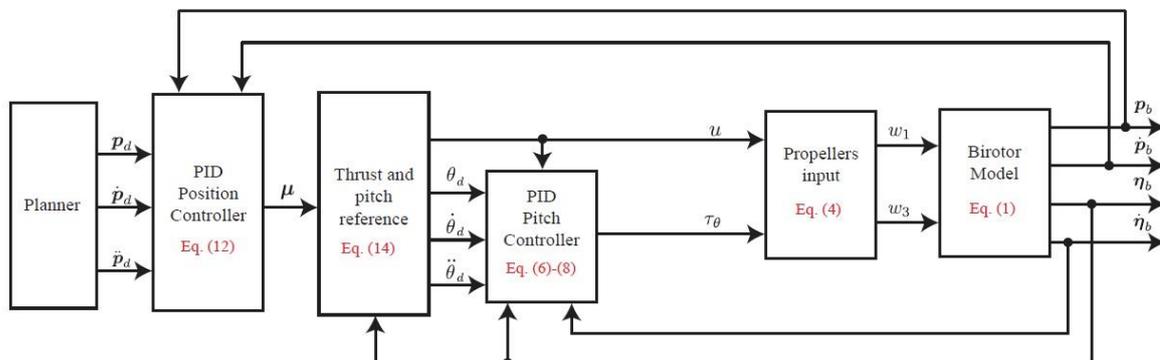


Figura 1

Le attività di ricerca svolte durante il primo anno di dottorato sono relative alla modellazione e al controllo di sistemi sottoattuati. I sistemi sottoattuati presentano un numero di azioni di controllo inferiore rispetto al numero di stati del sistema da controllare. Per questo motivo, tali sistemi non possono essere controllati lungo traiettorie arbitrarie nello spazio delle configurazioni. Lo studio di sistemi robotici sottoattuati si focalizza sulla costruzione di sistemi di controllo che usano la naturale dinamica del sistema nel tentativo di ottenere le performance desiderate in termini di efficienza, robustezza e velocità.

In particolare si sono studiate due problematiche sottoattuate: una relativa al controllo di un quadricottero in caso di perdita di un motore ed una relativa ad un compito di manipolazione robotica non prensile.

Il primo problema è stato affrontato a valle del lavoro di tesi magistrale ed ha portato all'implementazione di due tecniche di controllo: una *PID-based* [P1] ed un'altra basata su un approccio *backstepping* [P2]. Il quadricottero è un veicolo aereo senza pilota in cui i motori sono collegati ad eliche fisse allineate sullo stesso piano di azione. Esso è già di per se un veicolo sottoattuato a causa della presenza di soli 4 motori per controllare 6 gradi di libertà (3 di posizione e 3 di orientamento). Tipicamente, esso viene controllato tramite due cicli di controllo, uno interno di orientamento ed uno esterno di posizione [R1]. In letteratura alcune soluzioni proposte prevedono ridondanza di attuatori (*Hexacopters*, *Octocopters*). In caso di guasto di un motore, la sottoattuazione è ancora più marcata e la complessità del problema risiede nel trovare una legge di controllo in grado di agire contemporaneamente su più stati del sistema, tramite adeguate trasformazioni ed ipotesi semplificative. Si sono fatte le ipotesi di spegnere anche il motore opposto a quello guasto (per questo il veicolo viene anche chiamato *birotore*), innescando una rotazione intorno al suo asse verticale. Inoltre si è ipotizzato di aver già rilevato ed identificato il guasto.

Il primo approccio di controllo è basato sulla teoria di Lyapunov per i sistemi perturbati [R2]. Viene prima studiata indipendentemente la stabilità dei due sottosistemi relativi a posizione ed orientamento e successivamente vengono combinate queste informazioni con le informazioni relative alla perturbazione per ricavare una legge che stabilizzi il sistema complessivo. È stato dimostrato che con la legge *PID-based* ottenuta, le variabili controllate del sistema sono globalmente asintoticamente stabili, mentre le evoluzioni non controllate sono limitate. In Figura 1 è possibile osservare lo schema a blocchi dell'architettura di controllo sviluppata.

La seconda tecnica è stata sviluppata per le variabili di posizione ed è basata sul controllo di un vettore rotante, ottenuto come proiezione dell'asse verticale del veicolo sul piano-xy inerziale. In questo caso con una opportuna scelta della funzione di Lyapunov si è dimostrata la marginale stabilità dell'equilibrio per il sistema errore. Quest'ultima tecnica presenta una maggiore complessità computazionale ma un minor numero di guadagni da tarare rispetto alla precedente.

Si sono effettuate delle simulazioni in ambiente Matlab/Simulink per validare le tecniche di controllo sviluppate.

Il principale contributo apportato in relazione al controllo di questo sistema è una dimostrazione teorica della possibilità per il quadricottero in assenza di due motori di raggiungere qualsiasi punto dello spazio cartesiano, rinunciando però alla possibilità di controllare la rotazione intorno all'asse verticale del veicolo. Ciò comporta che qualsiasi traiettoria di emergenza può essere pianificata per un atterraggio.

L'attività di dottorato si è focalizzata fin dall'inizio anche su un'altra problematica sottoattuata: la manipolazione robotica non prensile, in cui l'oggetto da manipolare non viene impugnato o afferrato. Questa tematica è relazionata al progetto RODYMAN, in cui la dottoranda è coinvolta. L'obiettivo della manipolazione non prensile è quello di estendere l'insieme di compiti che un robot è in grado di eseguire assumendo, ad esempio, che l'oggetto con cui il robot interagisce possa rotolare, scivolare, perdere il contatto, e via dicendo [R3]. Tipicamente questi problemi sono per definizione sottoattuati poiché l'oggetto non è bloccato da un organo di presa ma presenta una sua evoluzione libera, l'attuazione avviene quindi solo su parte della dinamica di questi task.

Lo specifico problema che si sta studiando è quello di controllare posizione ed orientamento di una sfera vincolata al puro rotolamento su un piano, il quale fornisce l'attuazione necessaria a spostarla in maniera non prensile con adeguati ingressi di controllo. Questo sistema presenta un vincolo non olonomo lineare nelle velocità e la sottoattuazione è dovuta all'impossibilità di ottenere una velocità di rotazione della sfera intorno all'asse normale al piano (a causa dell'attrito e di micro-deformazioni che vincolano questa velocità) [R4] [R5] [R6]. Il sistema presenta, dunque, 2 ingressi per controllare 5 stati.

Un primo risultato ottenuto è la modellazione cinematica e dinamica del fenomeno sfruttando i quaternioni per rappresentare l'orientamento, ed evitando così l'uso di chart locali, molto utilizzate in letteratura specialmente in problemi di manipolazione debole e precisa con mani robotiche [R4], le quali però presentano delle singolarità di rappresentazione. Un approccio Lagrangiano ha permesso successivamente di ricavare le equazioni della dinamica, le quali sono state poi ridotte tramite delle trasformazioni così da rimuovere la presenza esplicita del vincolo non olonomo nella dinamica. Il modello è stato validato tramite delle simulazioni.

Il problema del controllo, oppure della pianificazione del moto, presenta alcune complessità poiché non è semplice ricondurre il sistema ad una formulazione standard, come le forme a catena [R7]. Tuttavia, l'individuazione della classe di appartenenza di questo sistema, in base alle sue proprietà [R8], ha permesso di trasformare le equazioni in forma normale con un termine di *drift* non banale. Secondo [R9], per questa topologia di sistema in esame non esiste un feedback *smooth* continuo stabilizzante poiché non è soddisfatta la condizione necessaria di Brockett [R10]. Per questo motivo si stanno attualmente indagando e sviluppando tecniche di controllo *piecewise smooth* (continue a tratti). Tramite la teoria della controllabilità non lineare è stato possibile dimostrare che il sistema è *small-time locally controllable*, che intuitivamente indica che è sempre possibile portare il sistema tra due stati sufficientemente vicini tra loro tramite manovre locali.

### Collaborazioni

Nell'ambito del progetto RODYMAN la dottoranda Diana Serra ha avuto l'occasione di presentare le sue attività correnti, seppure in una fase iniziale, in un meeting organizzato dal gruppo di ricerca PRISMA, ricevendo così dei feedback sul suo lavoro sulla manipolazione robotica non prensile.

### Riferimenti

- [R1] K. Nonami, F. Kendoul, S. Suzuki, and W. Wang. *Autonomous Flying Robots. Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [R2] H.K. Khalil. *Nonlinear systems*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2002.
- [R3] Kevin M Lynch and Matthew T Mason, *Dynamic underactuated nonprehensile manipulation*. 1996 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 889–896, 1996.
- [R4] R. M. Murray, Z. Li, S. S. Sastry, *A mathematical Introduction to Robotic Manipulation*. CRC press, 1994.

- [R5] D. J. Montana, *The kinematics of contact and grasp*, International Journal of Robotics Research, vol. 7, no. 3, pp. 17–32, 1988.
- [R6] A. Marigo and A. Bicchi. *Rolling bodies with regular surface: Controllability theory and applications*, IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 45, n. 9, pp.1586-1599, 2000.
- [R7] G. Oriolo and M. Vendittelli, *A framework for the stabilization of general nonholonomic systems with an application to the plate-ball mechanism*, IEEE Transactions on Robotics, vol. 21, n.2, pp. 162-175, 2005.
- [R8] R. Olfati-Saber, *Nonlinear control of underactuated mechanical systems with application to robotics and aerospace vehicles*, Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [R9] A. Bloch, M.M. Reyhanoglu, and N.H. McClamroch, *Control and stabilization of nonholonomic dynamic systems*, IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 37, n.11, pp. 1746-1757, 2002.
- [R10] R.W. Brockett, *Asymptotic stability and feedback stabilization*. Defense Technical Information Center, 1983.

#### 4. Pubblicazioni

- [P1] V. Lippiello, F. Ruggiero, D. Serra, *Emergency Landing for a Quadrotor in Case of a Propeller Failure: A Backstepping Approach*, 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 4782-4788, 2014.
- [P2] V. Lippiello, F. Ruggiero, D. Serra, *Emergency Landing for a Quadrotor in Case of a Propeller Failure: A PID Based Approach*, IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics, 2014.